

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2003201543  
PUBLICATION DATE : 18-07-03

APPLICATION DATE : 26-07-02  
APPLICATION NUMBER : 2002218541

APPLICANT : JFE STEEL KK;

INVENTOR : HASHIMOTO YUJI;

INT.CL. : C22C 38/00 C22C 38/06 C22C 38/58

TITLE : STEEL PIPE HAVING EXCELLENT WORKABILITY AND PRODUCTION METHOD THEREFOR

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high strength steel pipe for an automobile structural member which has a high strength satisfying a tensile strength of >580 MPa, and has excellent processability, and to provide a production method therefor.

SOLUTION: A steel pipe material having a composition containing 0.05 to 0.30% C, 0.01 to 1.0% Si, 1.0 to 4.0% Mn, 0.005 to 0.10% Al, and  $\leq 0.003\%$  S is heated, and is subjected to soaking treatment. After that, the steel pipe is subjected to reduction rolling at a rolling finishing temperature of 400 to  $<800^{\circ}$  and a cumulative reduction ratio of  $\geq 20\%$  to form into a product pipe. Thus, the steel pipe has a tensile strength of >580 MPa as-rolled, and a yield ratio of  $\geq 70\%$ , and its yield stress remarkably increases after the heat treatment at 150 to  $300^{\circ}\text{C}$  for 10 to 20 min, so that the yield ratio reaches  $\geq 80\%$ . Further, one or two kinds selected from Cu, Ni, Cr, Mo, Nb, Ti, and B and/or one or two kinds selected from rare earth metals and Ca can further be incorporated therein.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-201543

(P2003-201543A)

(43) 公開日 平成15年7月18日 (2003.7.18)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

C 2 2 C 38/00

38/06

38/58

識別記号

3 0 1

F I

C 2 2 C 38/00

38/06

38/58

テ-コート\*(参考)

3 0 1 Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2002-218541 (P2002-218541)

(22) 出願日 平成14年7月26日 (2002.7.26)

(31) 優先権主張番号 特願2001-328429 (P2001-328429)

(32) 優先日 平成13年10月25日 (2001.10.25)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001258

J F E スチール株式会社

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号

(72) 発明者 豊岡 高明

愛知県半田市川崎町1丁目1番地 川崎製

鉄株式会社知多製造所内

(72) 発明者 荒谷 昌利

愛知県半田市川崎町1丁目1番地 川崎製

鉄株式会社知多製造所内

(74) 代理人 100099531

弁理士 小林 英一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加工性に優れた鋼管およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 引張強さ: 580MPa 超えの高強度を有し、加工性に優れた自動車構造部材用高強度鋼管およびその製造方法を提案する。

【解決手段】 C: 0.05~0.30%、Si: 0.01~1.0%、Mn: 1.0~4.0%、Al: 0.005~0.10%、S: 0.003% 以下を含有する組成の素材鋼管に、加熱および均熱処理を施したのち、圧延終了温度: 400℃以上 800℃未満、累積縮径率: 20%以上の絞り圧延を施して製品管とする。これにより、圧延ままで引張強さが580Mpa超え、降伏比: 70%以下を有し、150~300℃で10~20minの熱処理を施した後に、降伏応力が大きく上昇し、降伏比が80%以上となる。なお、さらに、Cu、Ni、Cr、Mo、Nb、Ti、Bのうちから選ばれた1種または2種以上および/またはREM、Caのうちから選ばれた1種または2種を含有してもよい。

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】 質量%で、

C : 0.05~0.30%、 Si : 0.01~2.0  
%、  
Mn : 1.0 ~4.0 %、 Al : 0.005 ~0.10  
%、  
S : 0.003 %以下

を含有し、残部Feおよび不可避免の不純物からなる組成を有し、引張強さが580Mpaを超えて降伏比：70%以下を有し、低温短時間熱処理を施した後の降伏比が80%以上となることを特徴とする加工性に優れた自動車構造部材用高強度鋼管。

【請求項2】 組織が マルテンサイト フェライトあるいはさらに残留オーステナイトおよび／またはベイナイトを含む混合組織であることを特徴とする請求項1に記載の自動車構造部材用高強度鋼管。

【請求項3】 前記組成に加えてさらに 質量%で、Cu : 1%以下、Ni : 1%以下、Cr : 0.05~1.0%、Mo : 1%以下、Nb : 0.01~0.1%、Ti : 0.01~0.1%、B : 0.005 %以下のうちから選ばれた1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1または2に記載の自動車構造部材用高強度鋼管。

【請求項4】 前記組成に加えてさらに 質量%で、REM : 0.02%以下、Ca : 0.01%以下のうちから選ばれた1種または2種を含有することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の自動車構造部材用高強度鋼管。

## 【請求項5】 質量%で、

C : 0.05~0.30%、 Si : 0.01~2.0  
%、  
Mn : 1.0 ~4.0 %、 Al : 0.005 ~0.10  
%、  
S : 0.003 %以下

を含む組成を有する素材鋼管に、加熱および均熱処理を施したのち、圧延終了温度：400℃以上 800℃未満、累積縮径率：20%以上の絞り圧延を施して、引張強さが580Mpaを超えて降伏比：70%以下を有し、低温短時間熱処理を施した後の降伏比が80%以上となる製品管とすることを特徴とする加工性に優れた自動車構造部材用高強度鋼管の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自動車構造部材用鋼管に係り、とくに、自動車構造部材用として高強度でかつ加工性に優れ、さらには低温短時間熱処理硬化性（塗装焼付け硬化性）を有する鋼管に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、地球環境の保全という観点から、自動車車体の軽量化が強く要望されている。このような自動車車体の軽量化要求に伴い、自動車構造用部材として使用される鋼管にも、薄肉化・高強度化が要望されて

いる。鋼管は、自動車構造部材のうちでも懸架機構関係の用途に向けられることが多い。懸架機構用部材として用いられる鋼管は、単純な直管として使用される場合もあるが、曲げ 縮径、拡管等の成形を経て使用される場合が多い。このため、鋼管の特性として、高強度に加えて、加工性にも優れていることが要求される。

【0003】自動車の懸架機構部品としては、例えば、スタビライザーがある。スタビライザーは、自動車の旋回時の乗り心地および走行安定性を向上する部品であり、重要保安部品として指定されている。したがって、スタビライザーには十分な強度と耐久性を有することが要求されている。従来から、自動車の懸架機構部品としてのスタビライザーは、熱延棒鋼または熱延線材を素材として、該素材に熱間鍛造および熱間曲げ成形等により所定の形状の成形品にしたのち、該成形品に焼入れ、焼戻し処理を施す方法で製造されていた。しかしながら、この方法では、複雑な工程と大掛かりな設備を必要とし製造コストの高騰を招くとともに、加熱および焼入れ処理中に変形が生じる場合があり矯正工程が必須となるといった問題があった。また、加熱中の酸化にともなう肌荒れ、脱炭の生成などにより耐疲労性が劣化するという問題もあった。

【0004】また、最近では、自動車車体の軽量化の要求や、車体部品の生産効率の向上要求から、スタビライザー等部品素材の中空化が検討されている。従来から、種々の断面形状を有する中空部材を製造するには、鋼板をプレス成形した部品同士を溶接代であるフランジ部でスポット溶接する方法が採用されてきた。しかし、最近ではこのような中空部材にも、衝突時に、より高い衝撃吸収能を有することが求められるようになり、素材として一層高強度化した鋼板が使用されるようになってきた。そのため、従来のプレス成形を用いる方法では、成形欠陥のない、また成形品の形状、寸法精度に優れた、中空部材を製造することが困難になりつつある。

【0005】また、素材の中空化には 鋼管を使用することが考えられるが、部材の製造方法として従来の方法をそのまま踏襲したのでは 上記したような、矯正工程を必要とすること、耐疲労性が劣化することといった問題は依然として未解決のままとなる

このような問題を解決するための新しい成形方法として、最近、ハイドロフォーミングが注目されている。ハイドロフォーミングは、鋼管の内部に高圧液体を注入して所要形状の部材に成形する方法であり、鋼管の断面寸法を拡管加工などにより変化させて、複雑な形状の部材を一体成形でき、強度・剛性を高める機能を持つ優れた成形法である。

## 【0006】

【発明の解決しようとする課題】ハイドロフォーミングに供される鋼管としては、ハイドロフォーミングに耐えうる加工性を有することが必要なことから、C : 0.02~

0.1 質量%の低炭素鋼板を素材とした引張強さ：580MPa以下の電縫鋼管が多用されていた。しかしながら、このような低強度の鋼管では、最近の自動車用部材の薄肉化・高強度化の流れに対応できないため、ハイドロフォーミングに耐えうる加工性を有する高強度鋼管の開発が要望されていた。

【0007】本発明は、上記した従来技術の問題を解決し、引張強さ：580MPa超えの高強度を有し、加工性に優れた自動車構造部材用高強度鋼管およびその製造方法を提案することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記した課題を達成するため、歪発生の原因となる焼入れやオフラインの熱処理を行うことなく、高強度と優れた加工性を兼ね備えた鋼管を製造する方法について、鋭意研究した。その結果、特定範囲の組成を有する素材鋼管に、圧延終了温度を400℃以上800℃未満とする絞り圧延を行い、圧延終了後空冷することにより、組織がマルテンサイトおよびフェライトあるいはさらに残留オーステナイトおよび／またはベイナイトの混合組織となり、オフライン熱処理を行うことなく、高強度でかつ加工性に優れた製品管が得られることを見いだした。

【0009】本発明は、上記した知見に基づいて、さらに検討を加えて完成されたものである。すなわち、第1の本発明は、質量%で、C：0.05～0.30%、Si：0.01～2.0%、Mn：1.0～4.0%、Al：0.005～0.10%、S：0.003%以下を含有し、あるいはさらにCu：1%以下、Ni：1%以下、Cr：0.05～1.0%、Mo：1%以下、Nb：0.01～0.1%、Ti：0.01～0.1%、B：0.005%以下のうちから選ばれた1種または2種以上および／またはREM：0.02%以下のうちから選ばれた1種または2種を含有し、残部Feおよび不可避免の不純物からなる組成を有し、引張強さが580MPa超えて降伏比：70%以下を有し、低温短時間熱処理を施したのちの降伏比が80%以上となることを特徴とする加工性に優れた自動車構造部材用高強度鋼管であり、また本発明では、組織がマルテンサイトフェライトあるいはさらに残留オーステナイトおよび／またはベイナイトを含む混合組織であることが好ましい。

【0010】また、第2の本発明は、質量%で、C：0.05～0.30%、Si：0.01～1.0%、Mn：1.0～4.0%、Al：0.005～0.10%、S：0.003%以下を含有し、あるいはさらにCu：1%以下、Ni：1%以下、Cr：0.05～1.0%、Mo：1%以下、Nb：0.01～0.1%、Ti：0.01～0.1%、B：0.005%以下のうちから選ばれた1種または2種以上および／またはREM：0.02%以下のうちから選ばれた1種または2種を含有し、好ましくは残部Feおよび不可避免の不純物からなる組成を有する素材鋼管に、加熱および均熱処理を施したのち、圧延終了温度：400℃以上800℃未満、累積縮径率：20%

以上の絞り圧延を施して製品管とすることを特徴とする加工性に優れた自動車構造部材用高強度鋼管の製造方法である。なお、このようにして製造された製品管は、圧延ままで引張強さが580MPa超え、降伏比：70%以下を有し、150～300℃で10～20minの低温短時間熱処理を施した後に、降伏応力が大きく上昇し、降伏比が80%以上となる優れた低温短時間熱処理硬化性（塗装焼付け硬化性）を有する。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明の自動車構造部材用高強度鋼管は、引張強さTSが580MPa超えて、かつ降伏比YR（降伏強さYS／引張強さTS）が70%以下であり、好ましくは限界抃管率が15%以上である、加工性に優れた高強度鋼管である。本発明の鋼管は、電縫鋼管、鍛接鋼管等の溶接鋼管、あるいは継目無鋼管のいずれでもよく、その素材鋼管の製造方法には限定されない。

【0012】なお、限界抃管率LBR（%）とは、円形断面自由バルジ変形させてバーストさせる自由バルジ試験においてバーストしたときの試験体の最大外径 $d_{max}$ を測定し、次式

$$LBR(\%) = \left\{ (d_{max} - d_0) / d_0 \right\} \times 100$$

（ここに、 $d_0$ ：製品管（試験体）の外径）から算出された値である。

【0013】さらに、本発明の自動車構造部材用高強度鋼管は、低温短時間熱処理を施すことにより、降伏応力が大きく上昇し、降伏比YRが80%以上となる特性を有する。なお、本発明の自動車構造部材用高強度鋼管は、歪量5%以下の予変形を施したのち、同様の低温短時間熱処理を行っても同様の高降伏比が得られる。本発明でいう「低温短時間熱処理」とは、150～300℃の温度で10～20min保持する処理をいう。低温短時間熱処理の温度が、150℃未満では大きな降伏応力の増加効果が得られず、一方、300℃を超える温度では、引張強さが低下するうえ、コスト高となる。また、低温短時間熱処理の時間は、できるだけ短時間とすることが生産性、コストの面から好ましいが、10min未満では十分な効果が得られず、一方で20minを超えると、引張強さが低下する。

【0014】また、自動車用部材の場合、部品形状に成形加工を施した後に、塗装、焼付け工程を経ることが多い。塗装焼付け条件として、一般的には170～180℃で20min程度で行われる。本発明鋼管の場合は、従来のようにQT（Quench-Temper）処理を施して強度や加工性を確保する必要はなく、塗装焼付け時の熱を利用することにより所望の強度を確保することができる。また、上記した低温短時間熱処理条件内であれば、加工性の低下も少なく、加工性を保持したままで所望の強度を確保することが可能となる。

【0015】まず、本発明の自動車構造部材用高強度鋼管の組成限定理由を説明する。以下、質量%は単に%と記す。

C : 0.05~0.30%

Cは、基地中に固溶しあるいは他の元素と結合し炭化物として析出し、鋼の強度増加に寄与する元素である。このような効果を得るためには、0.05%以上の含有が必要となる。一方、0.30%を超えて含有すると、溶接性が劣化する。このため、本発明では、Cは0.05~0.30%の範囲に限定した。

【0016】Si : 0.01~2.0%

Siは、脱酸剤として作用するとともに、基地中に固溶し鋼の強度を増加させる元素である。これらの効果は、0.01%以上、好ましくは0.10%以上の含有で認められるが、2.0%を超える含有は延性を劣化させる。このため、Siは0.01~2.0%の範囲に限定した。なお、好ましくは、0.01~1.0%である。

【0017】Mn : 1.0~4.0%

Mnは、鋼の強度を増加させ、また、焼入れ性を向上させ圧延後の冷却時にマルテンサイト、残留オーステナイトの形成を促進する作用を有する元素である。このような効果は1.0%以上の含有で認められるが、4.0%を超える含有は延性を劣化させる。このため、Mnは1.0~4.0%の範囲に限定した。なお、好ましくは2.0~4.0%である。また、オフライン熱処理をせずに980MPa以上の高強度を確保するためには、Mnは2.5~4.0%の範囲とするのが好ましい。なお、より好ましくは、2.5~3.0%である。

【0018】Al : 0.005~0.10%

Alは、脱酸剤として作用することに加えて、結晶粒を微細化する作用を有する元素である。この結晶粒微細化の効果により、素材鋼管の組織を微細化し、本発明の効果をより大きくする。このような効果は、0.005%以上の含有で認められるが、0.10%を超える含有は、酸化物系介在物量を増加させ、清浄度を低下させる。このため、Alは0.001~0.10%の範囲に限定した。

【0019】S : 0.003%以下

Sは、鋼中で非金属介在物として存在し、この非金属介在物を起点としてハイドロフォームなどの加工を行った際に、鋼管が破断する場合がある。このため、Sはできるだけ低減することが耐破断性（ハイドロフォーミング性）を改善するという観点から好ましい。しかし、0.003%以下に低減すれば、耐破断性（ハイドロフォーミング性）改善効果が現れる。このため、Sは0.003%以下に限定した。なお、好ましくは0.0010%以下である。

【0020】上記した基本組成に加えて、下記に示す合金元素を必要に応じて含有することが好ましい。

Cu : 1%以下、Ni : 1%以下、Cr : 0.05~1.0%、Mo : 1%以下、Nb : 0.01~0.1%、Ti : 0.01~0.1%、B : 0.005%以下のうちから選ばれた1種あるいは2種以上、

Cu、Ni、Cr、Mo、Nb、Ti、Bは、いずれも強度を増加させる元素であり、必要に応じて1種または2種以上含有で

きる。

【0021】Cu、Ni、Moは、強度を増加させることに加えてさらに、変態点を低下させ、組織を微細化する効果を有している。このような効果は、Cu : 0.1%以上、Ni : 0.1%以上、Mo : 0.1%以上をそれぞれ含有することにより顕著となる。一方、Cuを1%を超えて多量に含有すると熱間加工性が劣化する。また、Niは強度増加とともに靱性をも改善するが、1%を超えて多量に含有しても、効果が飽和し、含有量に見合う効果が期待できなくなる。また、Moを1%を超えて多量に含有すると、溶接性、延性が劣化するうえコスト高となる。このようなことから、Cu : 1%以下、Ni : 1%以下、Mo : 1%以下とするのが好ましい。

【0022】Crは、焼入れ性を向上させて、マルテンサイトを生成させやすくして、強度を増加させるとともに耐食性を向上させる元素である。このような効果は0.05%以上の含有で認められる。一方、1.0%を超えて含有すると、溶接性、延性が劣化する。このため、Crは0.05~1.0%の範囲に限定することが好ましい。Nbは、炭化物、窒化物、あるいは炭窒化物として析出し、鋼の高強度化に寄与する元素である。とくに、高温に加熱される接合部を有する溶接鋼管では、接合時の加熱過程での粒の微細化や、冷却過程でのフェライトの析出核として作用し、接合部の硬化を防止する効果を有する。このような効果は、0.01%以上の含有で認められる。一方、0.1%を超えて多量に添加すると、溶接性、靱性ともに劣化する。このため、Nbは0.01~0.1%に限定することが好ましい。

【0023】Tiは、Nbと同様に、炭化物、窒化物、あるいは炭窒化物として析出し、高強度化に寄与する元素である。本発明では、0.01%以上の含有を必要とするが、0.1%を超えて多量に添加すると、溶接性、靱性とも劣化する。このため、Tiは0.01~0.1%に限定することが好ましい。Bは、焼入れ性の向上を介して強度を向上させる元素である。このような効果は、0.0005%以上の含有で顕著となる。一方、0.005%を超えて多量に含有すると溶接性、靱性とも劣化する。このため、Bは0.005%以下に限定するのが好ましい。

【0024】REM : 0.02%以下、Ca : 0.01%以下のうちから選ばれた1種あるいは2種

REM、Caは、いずれも硫化物、酸化物、または酸硫化物として鋼中に存在して、介在物の形状を球状化して、鋼の加工性を向上させる作用を有し、必要に応じて選択して含有できる。また、REM、Caとともに、接合部を有する溶接鋼管の接合部の硬化を防止する作用を有する。このような効果は、REM : 0.003%以上、Ca : 0.003%以上で顕著となる。

【0025】一方、REMが0.02%、あるいはCaが0.01%を超えると介在物が多くなりすぎ清浄度が低下し延性が劣化する。このため、REM : 0.02%以下、Ca : 0.01%以下

下とすることが好ましい。上記した成分以外の残部はFeおよび不可避の不純物である。不可避の不純物としては、N:0.01%以下、O:0.01%以下、P:0.10%以下が許容できる。

【0026】つぎに、本発明鋼管の好ましい組織について説明する。本発明鋼管は、マルテンサイトおよびフェライトの混合組織、もしくはマルテンサイト、フェライトおよび残留オーステナイトの混合組織、あるいはマルテンサイト、フェライトおよびベイナイトの混合組織、あるいはマルテンサイト、フェライト、残留オーステナイトおよびベイナイトの混合組織を有することが好ましい。混合組織におけるフェライトは、面積率が70%以下とすることが好ましい。フェライトの存在量が面積率で70%を超えて多くなると所望の高強度が確保できなくなる。なお、より好ましくは、50%以下である。

【0027】フェライト以外の残部は、主として、マルテンサイトである。なお、残留オーステナイトは、面積率で15%以下、ベイナイトは25%以下とすることが好ましい。残留オーステナイトが15%を超え、あるいはベイナイトが25%を超えると所望の高強度が確保できなくなる。つぎに、本発明の高強度鋼管の製造方法について説明する。

【0028】本発明の製造方法においては、上記した組成を有する鋼管を素材鋼管（素管）として、該素材鋼管に、加熱および均熱処理を施したのち、絞り圧延を施して製品管とする。本発明では、素材鋼管の製造方法は、通常公知の造管法がいずれも好適であり、特に限定する必要はない。造管方法としては、例えば、帯鋼を冷間または熱間でロール成形あるいは曲げ加工してオープン管とし、該オープン管の両エッジ部を高周波電流を利用して融点以上に加熱しスクイズロールで衝合接合する電気抵抗溶接法（素管名称：電縫管、熱管の場合は熱間電縫管）、オープン管両エッジ部を固相圧接温度域に加熱し圧接接合する固相圧接法（素管名称：固相圧接管）、鍛接法（素管名称：鍛接管）およびマンネスマン式穿孔圧延法（素管名称：継目無鋼管）のいずれも好適に使用できる。

【0029】上記した組成を有し、好ましくは上記した造管法のいずれかで製造された素材鋼管に、まず、加熱あるいは均熱処理を施す。素材鋼管に施す加熱処理あるいは均熱処理の条件は、後述する絞り圧延条件を満足することができればとくに限定されないが、 $A_{c3}$  変態点～ $A_{c1}$  変態点間に加熱するか、あるいは $A_{c3}$  変態点以上に加熱し、冷却することにより絞り圧延条件を満足するように調整することが好ましい。なお、素材鋼管の製造が温間または熱間で行われ、絞り圧延に際し、十分な温度を保有している場合には、室温まで冷却することなく、管温度分布の均熱化のために均熱処理を施すのみで充分である。素材鋼管の保有する温度が低い場合には、加熱処理を施すことが好ましい。なお、加熱処理に際し、必

ずしも室温まで冷却する必要はない。なお、本発明では、加熱または均熱処理後の冷却を適宜調整して、所望の絞り圧延条件を満足させることが好ましい。

【0030】加熱処理または均熱処理を施された素材鋼管は、ついで絞り圧延を施される。絞り圧延は、累積縮径率：20%以上、より好ましくは30%以上とすることが好ましい。累積縮径率が20%未満では、圧延集合組織の発達が不十分で高い $r$ 値が得られないため、優れた加工性を確保できない。 $r$ 値を高くする観点からは、累積縮径率は高い方が好ましいが、生産性の観点からは上限を95%とすることが望ましい。なお、好ましくは40～80%である。

【0031】絞り圧延の圧延終了温度は400℃以上、800℃未満、より好ましくは400℃以上700℃未満とすることが好ましい。なお、より好ましくは $\alpha+\gamma$ 二相域、あるいは二相域直上で、加工することが好ましい。 $\alpha+\gamma$ 二相域、あるいは二相域直上で、加工することにより、オーステナイトが不安定となり、フェライトへの変態が促進され、オーステナイト（ $\gamma$ ）分率が低下するため、 $\gamma$ へのC、Mnの濃縮が進行しやすくなり、焼入れ性が向上する。

【0032】絞り圧延の圧延終了温度が400℃未満では、圧延時の負荷が過大となるとともに、圧延時の加工硬化量が大きくなり、そのため加工性が低下し、所望の優れた加工性を確保することができなくなる。一方、絞り圧延の圧延終了温度が800℃以上では、低温短時間熱処理硬化性が低下し、所望の低温短時間熱処理後の特性が確保できなくなる。なお、圧延終了温度は高強度化の観点から、マルテンサイトまたはベイナイト変態終了温度以上とするのが好ましい。

【0033】なお、絞り圧延終了後は、常法に従って冷却すればよい。冷却は空冷または水冷いずれでもよい。また、絞り圧延には、レデューサーと称される複数の孔型圧延機をタンデムに配列した圧延機列を使用することが好ましい。なお、本発明では、絞り圧延は、潤滑下での圧延（潤滑圧延）とすることが好適である。絞り圧延を潤滑圧延とすることにより、厚み方向の歪み分布が均一となり、組織の微細化や集合組織の形成を厚み方向で均一にすることができる。無潤滑圧延では、剪断効果により材料表層部にのみ圧延歪が集中し、厚み方向に不均一な組織が形成される傾向となる。

【0034】

【実施例】表1に示す組成の熱延鋼板（2.3mm厚）を、管状にロール成形した後、両端を誘導加熱して衝合接合し、溶接鋼管（電縫鋼管：外径146mmφ）とした。これら溶接鋼管を素材鋼管とし、素材鋼管に表2に示す加熱処理を施し、さらに、表2に示す条件で絞り圧延を施し、製品管とした。絞り圧延はタンデム配置のレデューサーを使用して行った。

【0035】得られた製品管について、組織、引張特

性、低温短時間熱処理硬化特性、引張曲げ特性、拡張率を調査した。また、一部の鋼管については、自由バルジ試験によりハイドロフォーム加工を行い、バーストした時の拡張率を調査した。試験方法は下記のとおりである。

#### (1) 組織

各製品管から、試験片を採取し、管長手方向と直交する断面について、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡を用いて組織を撮像した。得られた組織写真について画像解析装置を用い、組織の種類、組織分率を求めた。

#### (2) 引張特性

各製品管から長手方向にJIS 12 A号試験片(標点間距離50mm)を採取して、JIS Z 2241の規定に準拠して引張り試験を実施し、降伏応力 $Y_S$ 、引張強さ $T_S$ 、伸び $E_1$ 、加工硬化指数 $n$ 値、およびランクフォード値 $r$ 値を求めた。

【0036】 $n$ 値は、5~10%間の真応力の変化に対する真歪の変化の値 すなわち、 $n = (\ln \sigma_{10\%} - \ln \sigma_{5\%}) / (\ln e_{10\%} - \ln e_{5\%})$ により求めた。なお、 $\sigma$ は真応力、 $e$ は真歪である。また、 $r$ 値は、引張試験における板厚真歪に対する板幅真歪の比で定義される。

#### 【0037】

$$r = \ln(W_i / W_f) / \ln(T_i / T_f)$$

ここで、 $W_i$  : 最初の板幅、 $W_f$  : 最終の板幅、 $T_i$  : 最初の板厚、 $T_f$  : 最終の板厚。

ただし、板厚測定は、かなりの誤差を伴うため $r$ 、通常は試験片の体積は一定であるとして、次式により $r$ 値を求める。

$$r = \ln(W_i / W_f) / \ln(L_f W_f / L_i W_i)$$

ここで、 $W_i$  : 最初の板幅、 $W_f$  : 最終の板幅、 $L_i$  : 最初の長さ、 $L_f$  : 最終の長さ。

本発明では、 $r$ 値は、引張試験片にゲージ長さが2mmの歪ゲージを貼り付け、公称歪で6~7%の引張を行った時の長手方向の真歪、幅方向の真歪を測定し、前記式により算出した。

#### (3) 低温短時間熱処理硬化特性

得られた各製品管から長手方向にJIS 12 A号試験片(標点間距離50mm)を採取して、まず引張塑性歪5%を付与する予変形を実施した。ついで、試験片に、180℃×20minの低温短時間熱処理を施した。そして、引張試験片に再引張りを行い、予変形時の最大応力と再引張り時の0.2%耐力との差を求め、低温短時間熱処理硬化量(B

H量)として低温短時間熱処理硬化特性を評価した。なお、低温短時間熱処理後の降伏比についても測定した。

#### (4) 拡張率

外径38.1mm以上の製品管を500mmの長さに切断しハイドロフォーム用試験体とした。このハイドロフォーム用試験体を、図1に示すようにハイドロフォーム加工装置にセットし、試験体の両端から水を供給して、円形断面自由バルジ変形させバースト(破断)させた。バーストしたときの試験体の最大外径 $d_{max}$ を測定し、次式

$$LBR(\%) = \{(d_{max} - d_0) / d_0\} \times 100$$

(ここに、 $d_0$  : 製品管(試験体)の外径)で限界拡張率LBRを算出した。なお、使用した金型の断面図を図2に示す。

【0039】上部金型2a、下部金型2bは、それぞれ長さ方向両端側に、鋼管の外径 $d_0$ に略等しい径の半筒状面で構成される鋼管保持部3を有し、長さ方向中央部には、径 $d_c$ の半筒状変形部4および傾斜角 $\theta = 45^\circ$ のテーパ状変形部5よりなる変形部6を有する。なお、変形部6の長さ $l_c$ は $d_0$ の2倍としている。また、半円筒状変形部4の径 $d_c$ は、鋼管の外径 $d_0$ の2倍程度あればよい。

【0040】試験方法の詳細についてさらに説明する。図1に示すように、この上部金型2aと下部金型2bとで、金型それぞれの鋼管保持部3に鋼管1が嵌まるように鋼管1を挟み込む。この状態で、鋼管1の両端から該鋼管1の内面側に、軸押シリンダ7aを介して水等の液体を供給して、液圧 $P$ を付与し、円形断面自由バルジ変形させてバーストした時の最大外径 $d_{max}$ を測定する。なお、図1中の8、9はそれぞれ金型2a、2bが鋼管が鋼管を挟み込んだ状態に保持しておくための、金型ホルダ、アウターリングである。なお、ハイドロフォームでは、管の両端を固定した場合と、管の両端から圧縮力を加える場合(軸方向圧縮という)があるが、一般に、管端圧縮の方が高い拡張率を得ることが可能である。ここでは、高い拡張率が得られるよう、管の両端から圧縮力を適宜負荷した。この圧縮力の負荷は、図1において、軸押シリンダ7a、7bに対して軸方向に圧縮力 $F$ を負荷することにより実施できる。なお、ここで使用した金型寸法(図2)は、 $l_c$ が127.0mm、 $d_c$ が127.0mm、 $r_d$ が5mm、 $l_0$ が550mm、 $\theta$ が $45^\circ$ であった。

【0041】得られた結果を表3に示す。

【0042】

【表1】

钢 号	化 学 成 分 (质量%)																变 相 点 (℃)	
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Nb	N	Cr	Cu	Ni	Mo	B	REM	Ca	A <sub>c1</sub>	A <sub>c3</sub>
A	0.15	0.2	3	0.018	0.001	0.03	0.015	0.02	0.005	0.1	—	—	—	—	—	—	698	780
B	0.08	0.2	2.5	0.02	0.001	0.03	0.015	0.045	0.005	0.2	—	—	—	—	—	—	697	803
C	0.15	0.2	3	0.02	0.001	0.03	0.015	0.02	0.003	0.1	0.2	0.2	0.15	0.001	—	—	695	779
D	0.08	0.2	1.5	0.02	0.001	0.03	0.015	0.045	0.005	0.1	0.2	0.2	0.15	0.001	0.0020	—	694	801
E	0.25	0.2	2	0.02	0.001	0.03	0.015	0.045	0.004	0.1	0.2	0.2	0.15	0.001	—	0.001	705	787
F	0.05	0.1	0.2	0.02	0.004	0.03	—	—	0.005	—	—	—	—	—	—	—	724	889
G	0.05	0.1	4.5	0.01	0.001	0.03	0.015	0.02	0.005	—	—	—	—	—	—	—	678	759
H	0.05	0.1	3	0.02	0.010	0.03	0.015	0.02	0.005	—	—	—	—	—	—	—	694	811
I	0.05	0.1	3	0.02	0.001	0.01	0.015	0.02	0.005	—	0.2	0.2	—	—	—	—	670	804
J	0.05	0.1	3	0.02	0.001	0.03	0.015	0.02	0.005	—	—	—	0.15	—	—	—	694	816
K	0.05	0.1	3	0.02	0.001	0.03	0.015	0.02	0.005	—	—	—	—	—	0.003	—	694	811
L	0.05	0.1	3	0.02	0.001	0.03	0.015	0.02	0.005	—	—	—	0.15	0.002	—	—	694	816
M	0.15	0.2	3	0.02	0.001	0.03	—	—	0.005	—	—	—	—	—	—	—	697	776

【0043】

【表2】



鋼管 No.	鋼 種	素材鋼管		絞り圧延条件				製品管	
		外 径 (mm)	肉 厚 (mm)	加熱均 熱温度 (℃)	圧延終了 温度 (℃)	伸び率 (%)	圧延後 冷却	外 径 (mm)	肉 厚 (mm)
1	A	25.4	5	—	ERW 直ま	—	—	25.4	5
2	A	63.5	2	—	ERW 直ま	—	—	63.5	2
3	E	63.5	2	—	ERW 直ま	—	—	63.5	2
4	A	88.0	5.2	750	550	71.1	空冷	25.4	5
5	A	88.0	5.2	700	500	71.1	空冷	25.4	5
6	A	88.0	5.2	800	590	71.1	空冷	25.4	5
7	A	88.0	5.2	850	590	71.1	空冷	25.4	5
8	A	88.0	5.2	800	500	71.1	空冷	25.4	5
9	A	88.0	5.2	800	500	56.7	水冷	38.1	5
10	A	146.0	5.2	900	580	56.5	空冷	63.5	2
11	A	146.0	5.2	600	400	38.4	空冷	90	2
12	A	146.0	5.2	850	580	31.5	空冷	100	2
13	A	146.0	5.2	1100	900	56.5	空冷	63.5	2
14	A	146.0	5.2	600	380	56.5	空冷	63.5	2
15	B	88.0	5.2	950	590	71.1	空冷	25.4	5
16	B	88.0	5.2	800	550	71.1	空冷	25.4	5
17	B	88.0	5.2	750	500	71.1	空冷	25.4	5
18	B	88.0	5.2	800	550	71.1	空冷	25.4	5
19	B	88.0	5.2	650	450	56.7	水冷	38.1	5
20	B	146.0	5.2	750	550	56.5	空冷	63.5	2
21	B	146.0	5.2	750	550	38.4	空冷	90.0	2
22	B	146.0	5.2	750	550	31.5	空冷	100.0	2
23	C	146.0	5.2	900	550	56.5	空冷	63.5	2
24	D	146.0	5.2	550	400	56.5	空冷	63.5	2
25	E	146.0	5.2	750	500	56.5	空冷	63.5	2
26	F	146.0	5.2	750	500	56.5	空冷	63.5	2
27	G	146.0	5.2	750	500	56.5	電冷	63.5	2
28	H	146.0	5.2	750	500	56.5	電冷	63.5	2
29	I	146.0	5.2	750	500	56.5	電冷	63.5	2
30	J	146.0	5.2	750	500	56.5	電冷	63.5	2
31	K	146.0	5.2	750	500	56.5	電冷	63.5	2
32	L	146.0	5.2	750	500	56.5	電冷	63.5	2
33	M	146.0	5.2	750	500	56.5	電冷	63.5	2

【0044】

【表3】

例 No.	鋼 種	組 織			力学特性						r 値	低温短時間熱処理		自由変形 (%)	備 考
		フェ ライト 分率 面積%	マル テン サイト 分率 面積%	残留 δ-Fe 分率 面積%	YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	YR (%)	n 値	硬化 量 HRC (HRC)		熱処理 後のYR (%)			
1	A	F18	10	—	1090	1180	8	92	0.07	0.6	10	92	—	比較例	
2	A	F18	10	—	1019	1160	7	92	0.07	0.7	10	83	11.0	比較例	
3	E	F18	95	—	279	350	33	77	0.09	1.1	20	83	41.0	比較例	
4	A	F18	30	7	635	1095	29	58	0.18	1.5	250	81	—	本発明例	
5	A	F18	35	9	620	1089	28	58	0.18	1.5	260	82	—	本発明例	
6	A	F18	40	8	610	1052	28	58	0.17	1.5	250	82	—	本発明例	
7	A	F18	45	8	580	1017	29	58	0.17	1.5	260	84	—	本発明例	
8	A	F18	47	9	570	983	31	58	0.18	1.5	260	84	—	本発明例	
9	A	F18	40	10	580	1017	29	58	0.18	1.4	250	83	33.0	本発明例	
10	A	F18	40	3	585	1099	24	58	0.17	1.4	260	84	32.0	本発明例	
11	A	F18	49	2	580	1090	25	58	0.18	1.2	270	85	33.0	本発明例	
12	A	F18	45	8	575	991	18	58	0.17	0.9	280	84	11.0	本発明例	
13	A	F18	28	7	630	1098	23	58	0.18	0.8	250	81	14.0	本発明例	
14	A	F18	55	2	750	1085	17	70	0.18	1.1	250	94	13.0	本発明例	
15	B	F18	35	5	620	1069	28	58	0.17	1.4	260	82	—	本発明例	
16	B	F18	40	7	590	1017	29	58	0.18	1.4	240	82	—	本発明例	
17	B	F18	45	9	585	1009	29	58	0.17	1.5	260	84	—	本発明例	
18	B	F18	47	11	580	1000	30	58	0.18	1.4	270	85	—	本発明例	
19	B	F18	42	12	590	1017	28	58	0.18	1.3	250	83	29.0	本発明例	
20	B	F18	38	7	580	1000	22	58	0.17	1.3	250	83	28.0	本発明例	
21	B	F18	36	0	580	1017	21	58	0.17	1.2	260	84	29.0	本発明例	
22	B	F18	44	8	580	1000	25	58	0.18	1.2	240	82	29.0	本発明例	
23	C	F18	28	7	575	983	24	58	0.17	1.3	250	83	29.0	本発明例	
24	D	F18	38	8	575	983	24	58	0.18	1.4	230	84	27.0	本発明例	
25	E	F18	36	9	580	1000	23	58	0.18	1.3	270	85	28.0	本発明例	
26	F	F18	90	—	304	400	32	75	0.18	1.4	10	78	42.0	比較例	
27	G	F18	20	8	600	1180	11	81	0.15	0.7	10	85	9.9	比較例	
28	H	F18	45	7	590	955	17	61	0.14	1.4	220	85	7.2	比較例	
29	I	F18	44	7	585	978	27	60	0.17	1.3	230	85	28.0	本発明例	
30	J	F18	45	8	560	975	28	57	0.18	1.3	240	86	29.0	本発明例	
31	K	F18	44	8	575	988	28	59	0.18	1.4	230	86	30.0	本発明例	
32	L	F18	43	8	565	980	27	57	0.17	1.4	240	87	29.0	本発明例	
33	M	F18	40	8	650	980	30	66	0.18	1.3	220	88	30.0	本発明例	

※ F: フェライト、M: マルテンサイト、P: パーサイト、B: バイナイト

【0045】本発明例は、いずれも引張強さ580MPa超であつ、70%以下の低降伏比と高延性を有し、さらに、拡張率LBRが高く、ハイドロフォーム性にも優れている。さらに、低温短時間熱処理により、大きなBH量が得られ、また降伏比も80%以上の高YRが得られている。したがって、本発明例はいずれも、加工後に高強度を確保することが可能となる。一方、本発明の範囲を外れる比較例では、引張強さが低いか、降伏比が高いか、LBRが低いかして加工性が低下している。

#### 【0046】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、オフライン熱処理を行うことなく、高強度であつ加工性に優れた高強度鋼管を安価に製造することができ、産業上格段の効果を奏する。また、本発明の高強度鋼管は、高強度に加え、高延性で高い限界拡張率を有してハイドロフォーム性に優れ、自動車構造部材用として自動車車体の軽量化に寄与できるという効果もある。

#### 【図面の簡単な説明】

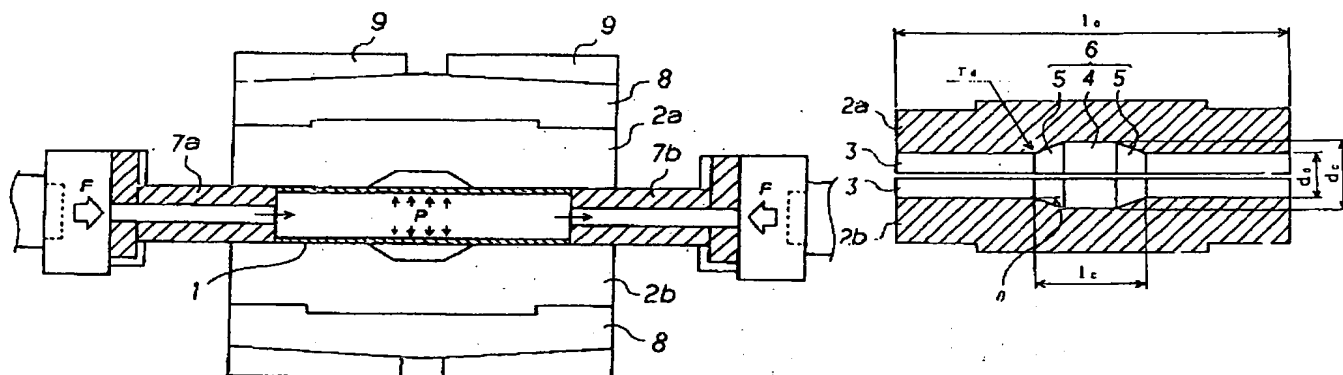
【図1】自由バルジ試験に用いるハイドロフォーミング加工装置の構成の例を示す断面図である。

【図2】自由バルジ試験に用いる金型の一例を示す断面図である。

#### 【符号の説明】

- 1 試験体（試験鋼管）
- 2 金型
- 2a 上部金型
- 2b 下部金型
- 3 鋼管保持部
- 4 半円筒状変形部
- 5 テーパー状変形部
- 6 変形部
- 7a、7b 軸押シリンダ
- 8 金型ホルダ
- 9 アウターリング

【図2】



(72)発明者 橋本 裕二  
愛知県半田市川崎町1丁目1番地 川崎製  
鉄株式会社知多製造所内